

文章编号: 1001-1986(2017)06-0139-04

# 对瞬变电磁测深几个问题的思考(五) ——地形对 TEM 资料的影响

陈明生

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

**摘要:** 通过观测点的地形对瞬变电磁法(TEM)相关资料的影响分析, 结果表明其大小不但与地形的变化幅度有关, 也与表层电阻率高低、观测延时有关。通过模拟计算与实际应用, 验证了地形对 TEM 资料影响的规律。地形对 TEM 资料影响的实质是地形起伏促使涡流聚散, 致使感应场升高或降低, 导致 TEM 视电阻率变化与地形起伏反向。根据地形对 TEM 资料影响的规律, 可采用适当方法进行地形影响校正。

**关 键 词:** 瞬变电磁法; 视电阻率; 地形起伏; 涡流聚散; 感应场; 校正

**中图分类号:** P631      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2017.06.022

## The influence of topography on TEM data

CHEN Mingsheng

(Xi'an Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an 710077, China)

**Abstract:** This paper analyses the influence of terrain of observation point on data collection and the conversed apparent resistivity of transient electromagnetic method(TEM), the amplitude of influence is not only associated with the change of the terrain, but also with surface resistivity and observation time delay. The simulation results accord with the experimental results, verifying the influence law of topography on the TEM data. The essence of the terrain effect on TEM data is that undulating terrain prompts eddy current to aggregate or diverge, resulting in the induction field to increase or decrease, making TEM apparent resistivity change with topography reversely. According to the law of the impact of topography on TEM data, the appropriate correction may be used.

**Keywords:** transient electromagnetic method; apparent resistivity; topographic relief; eddy current aggregation or divergence; induction field; correction

地形起伏变化相对于水平半空间来说, 相当于叠加了异常体, 因此对一般物探采集的资料会有影响, 对电磁法(EM)的影响比较大, 瞬变电磁法(TEM)也不例外。首先明确一次场, 它是在没有异常体的均匀各向同性介质中, 各种场源产生的电磁场为一次场。当均匀各向同性介质中存在异常体时, 便出现二次场, 一次场和二次场结合起来为总场。即使水平均匀半空间的电磁场也包括一次场和二次场, 因此, 我们在求水平分层介质的电磁场时, 对上半空间的总场分解成一次场和二次场, 下半空间按总场来求。二次场是不均匀体引起的, 起伏地形相对水

平地形来说是不均匀体, 对一般电磁场有影响, 对瞬变电磁场也理应产生影响。

## 1 实测资料及分析

起伏地形对瞬变电磁场的影响和装置有关, 现以共中心线圈装置为例加以说明。

图 1 是陕西省韩城某矿 TEM 施工布置图, 发射框为  $600 \text{ m} \times 600 \text{ m}$ , 接收在其中部  $1/3$  处, 点、线距均为  $40 \text{ m}$ , 接收线圈直径  $1 \text{ m}$ 、等效面积  $100 \text{ m}^2$ , 并使其保持水平。这样, 发射框范围大而趋于水平; 接收圈小而水平, 所在位置随地形变。

收稿日期: 2016-08-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41374150)

Foundation item : National Natural Science Foundation of China(41374150)

作者简介: 陈明生(1940—), 男, 山东单县人, 研究员, 博士生导师, 从事电磁法勘探研究. E-mail: chenms40@163.com

引用格式: 陈明生. 对瞬变电磁测深几个问题的思考(五)——地形对 TEM 资料的影响[J]. 煤田地质与勘探, 2017, 45(6): 139–142.

CHEN Mingsheng. The influence of topography on TEM data[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(6): 139–142.

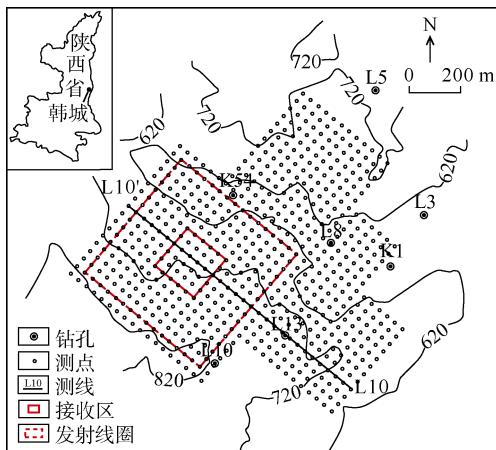


图 1 施工布设图  
Fig.1 Layout of TEM detection

图 2 是由图 1 中 L10 测线的实测资料剖面图 , 图 2a—图 2c 分别表示图 1 中 L10 测线的测点地形标高、垂直磁场的感生电动势和视电阻率。由图 2 可看出:

- 感生电动势随地形的变化 , 高处低 , 低处高 ; 视电阻率则相反 , 高处高 , 低处低 , 与地形变化一致。
- 地形变化大 , 感生电动势及视电阻率变化也大 ; 地形变化小 , 感生电动势及视电阻率变化也小。
- 感生电动势及视电阻率随地形变化在早时段大 , 晚时段小。

以上的变化规律 , 可通过二次涡流随地形起伏而集中或发散得到解释。其处理可选滤波法 , 图 3 是滤波处理结果图。由图 3 可以看出 , 处理前地势低凹处低视电阻率分布宽而深 , 这是地形影响所致 ; 经滤波处理后低阻体表征基本消失 , 变成正常层序的剖面图。

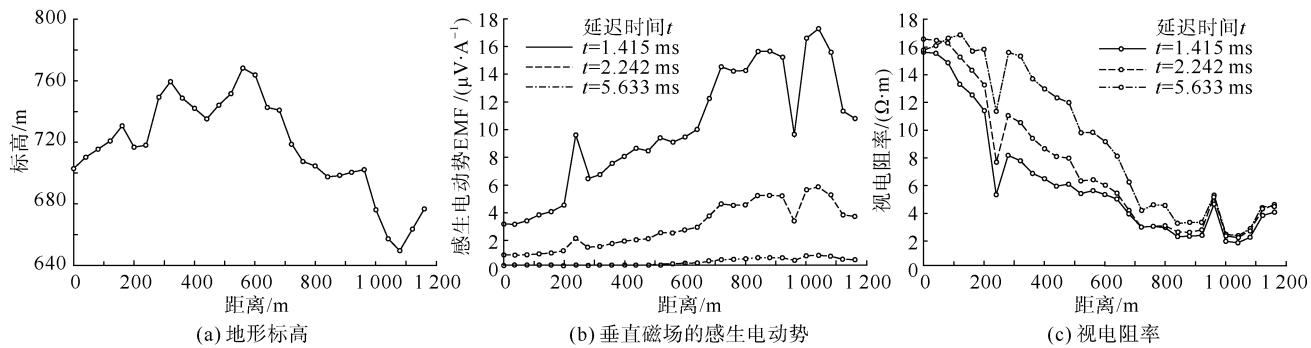


图 2 L10 测线的实测资料(据文献[5])  
Fig.2 Actual detection data at survey line L10

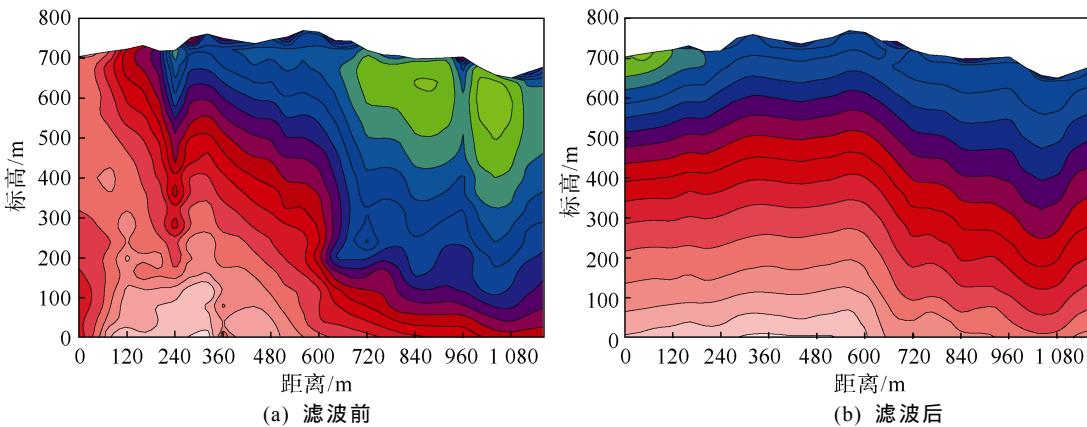


图 3 滤波处理结果  
Fig.3 Result of filtering processing

图 4 为山西某矿所测 CSAMT(横磁型)剖面图 , 反映的地形影响与 TEM(图 2)不同 ; 它们的场强趋势和视电祖率都与地形反向 , 高频更明显 , 低频变弱 , 反映的层次不同。这似乎和 TEM 有些矛盾 , 应从 TEM 响应直接反映相应地下层的二次涡流分布 , CSAMT 由地表电流(场)分布间接反应地下相应层的电阻率分布来理解。

## 2 模拟计算验证

根据 L15 测线地形(图 5a) , 按实测 TEM 装置进行三维模拟<sup>[1]</sup>(图 5b) , 图 5c 是模拟结果 , 图上半部分是地形线 , 下半部分是计算感生电动势与实测感生电动势的对比。计算值和实测值有偏离 , 但趋势一致并与地形反向。这就从实测资料和理论模拟上说明

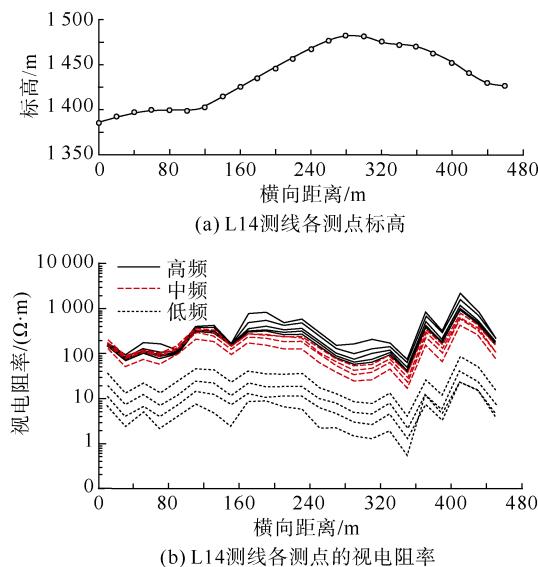


图4 L14测线CSAMT多频道图

Fig.4 CSAMT multi-channels at survey line L14

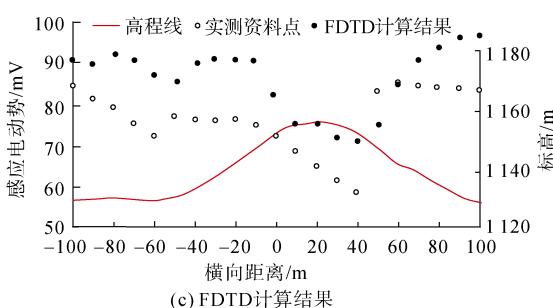
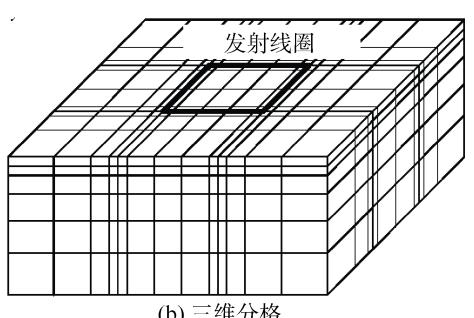
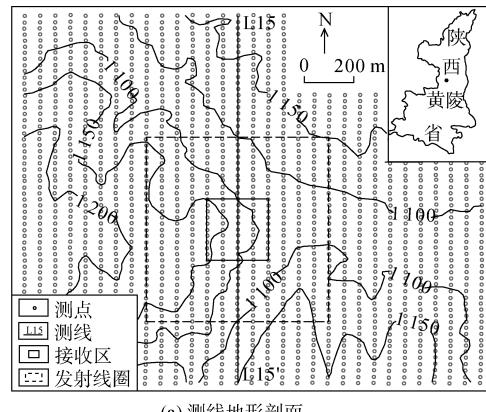
图5 L15测线TEM资料受地形影响的三维模拟图  
(据文献[1])

Fig.5 TEM three-dimensional simulation of survey line L15

地形对瞬变场的分布与大小有影响，而且不可忽视。

以上是地形对磁偶源中心回线垂直磁场影响的规律，由 A Mördt 等<sup>[2]</sup>用三维 FDTD 模拟地形对电偶源 LOTEM 垂直磁场的影响也能看出类似规律，现以图 6 来说明。

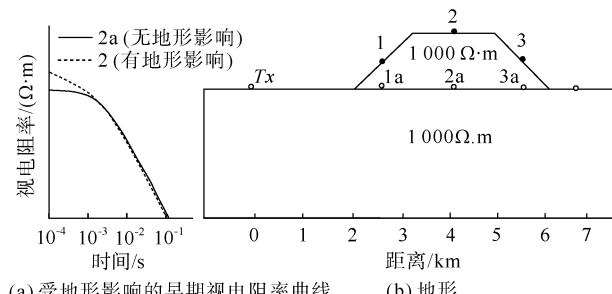


图6 地形对LOTEM资料影响的模拟图

Fig.6 LOTEM terrain simulation

图 6b 中  $Tx$  表示垂直剖面的水平电偶极(2 km)，水平接收线圈  $Rx$  布置在有地形的测点 1、2、3 号和相应的水平地面测点 1a、2a、3a 号。图 6a 上面的曲线图中的虚线为在梯形地形顶面 2 号点计算的垂直磁场转换的视电阻率曲线，实线是对应平面上 2a 号点的视电阻率曲线。显然，早时段受地形影响视电阻率偏高，随时间延迟地形影响逐渐消失，这和前述中心回线实际观测结果的规律相符。

### 3 地形对 TEM 影响的机理

#### 3.1 地形影响的因素

造成地形影响的因素，对于 TEM 有以下几点<sup>[3]</sup>：

a. 接收回线高于或低于基准水平地表，这相当于山体作为导电体置换了空气，或空气作为绝缘体置换了原属水平大地的一部分；

b. 接收回线处于非水平状态，接收的不仅有磁(电)场的垂直(水平)分量，还有水平(垂直)分量的成分；  
c. 山体和地下构造的耦合。

#### 3.2 地形影响的基本规律

地形对 TEM 响应的基本规律为：

a. 实测感生电动势与地形的变化反向，即地势高处降低，地势低处增高；

b. 视电阻率的变化与地形同向，即地势高处视电阻率值增高，地势低处视电阻率值降低；

c. 地形对早期 TEM 数据影响较大，随着观测时间的增加，地形影响逐渐减弱；

d. 地形变化剧烈处，实测数据变化剧烈，地形变化较平缓处变化平缓；

e. 高阻表层地形影响小，低阻表层影响大。

对于以电压值为基本观测量的电法和电磁法勘

探来说，引起实测数据变化的原因可由经典的电流线在地形限制下的聚集和发散机理来解释<sup>[4]</sup>：电流从源点到场点的流动过程中，随地势的起伏，在山峰处电流线发散(密度小)，山谷处电流线聚集(密度大)，这可由图 7 明显看出。电场强度( $E$ )与电流密度( $J$ )成正比，电压( $V$ )与电场强度( $E$ )成正比。

$$J = \sigma E \quad (1)$$

$$V = \int_l E \cdot dl \quad (2)$$

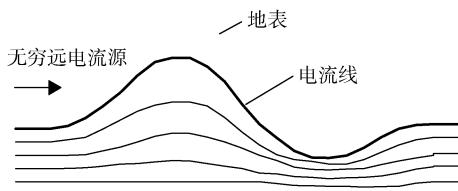


图 7 地形对电流的聚集与发散作用(据文献[4])

Fig.7 Focusing and dispersion effect of topography on current lines

因此，实测数据的大小变化与地形的高低变化反向。上述地形影响的基本规律，无论对直流电法还是频域、时域的电磁法勘探都是相同的。TEM 中的早期，相当于频域中的高频和直流中的小极距情况。但是，直流和频域中的视电阻率与电压(或电场)成正比，因此视电阻率变化与地形起伏是反向的<sup>[5-7]</sup>；但时域瞬变电磁场将在低凹地形处聚集较大的涡旋场，观测电压也就是感生电动势随之增大；在高凸地形处涡流场发散变小，感生电动势随之减小。这种特性为视电阻率所反映，就是 TEM 的视电阻率值与 EMF 值的大小相反，以至 TEM 视电阻率变化与地形的高低变化趋势同向，所以时域 TEM 视电阻率随地形的变化(地形影响基本规律 b)，表现出了与频域和直流电法勘探不一样的特点；但是都是地形对电流线的发散与汇集作用造成的，实质是较深部地质体在地表观测数据的反映，只是直流和频域资料是间接反映，TEM 资料直接反应。

#### 4 结 论

地形对频率域和时间域的电磁法资料都有影响，对瞬变场常采用的垂直磁场观测其影响规律总结如下：

a. 感生电动势随地形的变化，高处低、低处高；视电阻率相反，高处高、低处低，与地形变化一致。

b. 地形变化大，感生电动势及视电阻率变化也大；地形变化小，感生电动势及视电阻率变化也小。

c. 感生电动势及视电阻率随地形变化在早时段大，晚时段小；高阻表层地形影响小；低阻表层影响大。

d. 压制地形对观测资料的影响可选滤波等方法处理。

#### 参 考 文 献

- [1] YAN Shu , SHI Hongbei , SHI Xianxin , et al. A finite-difference time-domain approach for three-dimensional transient electromagnetic response of topographic distortions[C]/IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth Extended Abstract 19th Workshop. Beijing : 2008.
- [2] MÖRDT A , MÜLLER M. Understanding LOTEM data from mountainous terrain[J]. Geophysics , 2000 , 65(4) : 1113–1123.
- [3] 邱卫忠. 回线源 TEM 山地勘探中的地形影响和校正方法[J]. 煤田地质与勘探 , 2012 , 40(5) : 78–81.
- [4] QIU Weizhong. Topographic influence and correction methods for loop source TEM in mountain exploration[J]. Coal Geology & Exploration , 2012 , 40(5) : 78–81.
- [5] FOX R , HOHMANN G W , KILLPACKS T J , et al. Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys[J]. Geophysics , 1980 , 45(1) : 75–93.
- [6] 闫述 , 陈明生 , 陆俊良. 频率测深的地形影响及其校正方法[J]. 煤田地质与勘探 , 1994 , 22(4) : 75–93.
- [7] YAN Shu , CHEN Mingsheng , LU Junliang. The influence of topography on frequency sounding and its correction method[J]. Coal Geology & Exploration , 1994 , 22(4) : 75–93.
- [8] 陈明生 , 闫述. 论频率测深应用中的几个问题[M]. 北京 : 地质出版社 , 1995.
- [9] 闫述 , 陈明生 , 李志民. 频率测深二维地形影响的边界元素法正演计算模拟[J]. 物探化探计算技术 , 1996 , 18(4) : 310–319.
- [10] YAN Shu , CHEN Mingsheng , LI Zhiming. The forward simulation of the boundary element method on frequency sounding two-dimensional topographic influence[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration , 1996 , 18(4) : 310–319.

(责任编辑 聂爱兰)